

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CONSOMMATION EN OXYGÈNE DES MUSCLES RESPIRATOIRES ( $VO_{2MR}$ )  
DURANT UNE ÉPREUVE INSPIRATOIRE PROGRESSIVE SOUS-MAXIMALE  
CHEZ LES BLESSÉS MÉDULLAIRES

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE  
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR  
ANDRÉE-ANNE PARENT

JUIN 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

Remerciements tout particuliers à ceux et celles qui ont participé à cette étude et qui ont pu rendre possible le projet. Je souhaite aussi adresser tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide lors du recrutement : Mme Caroline Levasseur de Viomax, M. Patrick Côté de l'AQSFR et l'Association de la moelle épinière et motricité du Québec, ainsi qu'à ceux et celles qui ont aidé à la collecte de données : M. Robin Drolet et Mme Andrée-Anne Ouellette. Finalement, j'adresse mes plus sincères remerciements à M. Alain-Steve Comtois. Sans lui ce projet n'aurait jamais vu le jour et n'aurait pu être aussi bien mené à terme.

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	ii
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
DÉFINITIONS .....	vii
RÉSUMÉ .....	x
CHAPITRE 1	
INTRODUCTION .....	1
1.1 Contexte général .....	1
1.2 Objet de la recherche.....	2
1.3 Connaissance spécifique .....	2
1.4 Énoncé du problème.....	3
1.5 Hypothèse.....	3
1.6 Limites .....	3
1.7 Importance .....	4
CHAPITRE 2	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	5
CHAPITRE 3	
MÉTHODOLOGIE.....	17
3.1 Introduction .....	17
3.2 Participants.....	17
3.3 Conditions (variables indépendantes) .....	19
3.4 Mesures (variables dépendantes) .....	21
3.5 Procédures .....	22
3.6 Quantification et analyses .....	26
CHAPITRE 4	
RÉSULTATS .....	27

4.1	Caractéristiques des participants .....	27
4.2	Test respiratoire progressif sous-maximal .....	29
CHAPITRE 5		
DISCUSSION	.....	38
5.1	Tests CV, P <sub>I</sub> max et P <sub>E</sub> max .....	38
5.2	Test respiratoire progressif sous-maximal .....	40
5.3	Perspectives à moyen terme .....	43
5.4	Conclusion .....	45
ANNEXE 1		
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	.....	46
ANNEXE 2		
ÉCHELLE OMNI MODIFIÉE	.....	54
RÉFÉRENCES	.....	56

## LISTE DES FIGURES

Figures	Page
2-1 Consommation en oxygène (mL/min) en fonction de la ventilation (L/min).....	5
2-2 Schéma du contrôle volontaire et automatique de la respiration .....	10
2-3 Diagramme des niveaux d'innervation des muscles inspiratoires et expiratoires	13
2-4 Pressions inspiratoire et expiratoire maximales pour des participants tétraplégiques (TP) et sans blessure médullaire (AB).....	14
2-5 Schéma respiratoire chez le rat .....	15
3-1 Schéma de montage .....	21
3-2 Illustration de l'appareil utilisé pour mesurer les pressions inspiratoires et expiratoires maximales à la bouche .....	22
3-3 Échelle de la séance. Le temps total maximum est de 85 minutes. ....	26
4-1 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ en fonction du %PImax pour les deux groupes .....	29
4-2 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ en fonction de la charge pour les deux groupes. ....	29
4-3 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ extrapolée en fonction du %PImax pour les deux groupes. ....	31
4-4 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ extrapolée en fonction de la charge pour les deux groupes. ....	32
4-5 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ en fonction du VE pour les deux groupes...	32
4-6 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ en fonction du VC pour les deux groupes...	32
4-7 Représente la relation du VC en fonction du temps inspiratoire ( $t_i$ ) pour un cycle respiratoire pour les deux groupes à 0g et 200g.....	34
4-8: Représente la relation du $VO_{2MR}$ en fonction du $t_i$ pour un cycle respiratoire, pour les deux groupes à 0g et 200g.....	34
4-9 Représente la relation de la $VO_{2MR}$ en fonction du $t_i$ pour les deux groupes .....	35
4-10 Représente la $VO_{2MR}$ en fonction du $F_{etCO_2}$ pour les deux groupes à 0g et 200g .....	36
5-1 Représente la $VO_{2MR}$ en fonction du %PImax pour les deux groupes de l'étude de Manning et al. (1992) et nos données. ....	41

## LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
2-1 : Exemples de tests d'endurance des muscles respiratoires.....	8
3-1 : Schéma expérimental.....	20
4-1: Caractéristiques des participants.....	28
4-2: Variables respiratoires pour le test respiratoire progressif .....	37

## DÉFINITIONS

Capacité pulmonaire totale (CPT) :

capacité maximale d'air que peuvent contenir les poumons

Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) :

Somme du volume résiduel et du volume de réserve expiratoire.

Capacité vitale (CV) :

volume maximal d'air mobilisé volontairement entre une inspiration et une expiration forcée.

Consommation en oxygène ( $VO_2$ ) :

volume d'oxygène consommé par l'organisme, en général l'humain, par unité de temps lors d'une activité, elle représente généralement le coût énergétique associé à une activité.

Consommation en oxygène des muscles respiratoires ( $VO_{2MR}$ ) :

coût énergétique en oxygène associé à l'activité des muscles respiratoires.

Débit respiratoire ( $V_E$ ) :

quantité d'air ventilé par l'organisme en une minute.

Efficacité ventilatoire :

reliés à une diminution ou une augmentation de la  $VO_{2MR}$  normalisé au volume courant respectif.



Endurance :

capacité à résister à la fatigue

FetCO<sub>2</sub> (end tidal):

concentration de CO<sub>2</sub> à la fin de l'expiration.

Fréquence respiratoire (FR):

cadence à laquelle une personne respire, l'unité la plus utilisée est le nombre de respirations/min.

Maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) :

La MPOC englobe quelques maladies pulmonaires : les plus courantes sont la bronchite chronique et l'emphysème. Elle est définie généralement comme une maladie pulmonaire à long terme.

Muscle respiratoire (MR) :

muscles responsables de la respiration, incluant les muscles inspiratoires et expiratoires.

Pression inspiratoire maximale (PI<sub>max</sub>) :

pression maximale mesurée à la bouche lors d'une épreuve inspiratoire maximale. Il est à noter que l'abréviation utilisée en anglais dans les articles scientifiques est MIP.

Pression expiratoire maximale (PE<sub>max</sub>):

pression maximale mesurée à la bouche lors d'une épreuve expiratoire maximale. Il est à noter que l'abréviation utilisée en anglais dans les articles scientifiques est MEP.

Pression transdiaphragmatique ( $P_{di}$ ):

pression développée par le diaphragme.

Volume courant ( $V_T$ ) :

volume d'air inspiré et expiré en une respiration

Volume de réserve expiratoire :

Volume d'air au-delà du volume courant qui peut être expulsé par une forte expiration.

Volume résiduel (VR) :

Volume d'air encore contenu dans les poumons après une expiration maximale et qui ne peut être mesuré par spiromètre.

## RÉSUMÉ

Les difficultés respiratoires chez les blessés médullaires (BM) nuisent à leur qualité de vie. Le fonctionnement des muscles respiratoires (MR) chez les blessés médullaires (BM) est dépendant du niveau de la lésion à la moelle épinière. Le but de cette étude est de déterminer la consommation en oxygène des muscles respiratoires ( $VO_{2MR}$ ) durant une épreuve inspiratoire progressive chez les BM. Un groupe de 6 participants tétraplégiques (C4-C7) et un groupe témoin (GT) de 10 participants ont été recrutés pour effectuer une épreuve inspiratoire à l'aide d'une valve Hans-Rudolph modifiée. Avant l'épreuve, la capacité vitale lente, les pressions inspiratoire et expiratoire maximales ( $PI_{max}$  et  $PE_{max}$ ) ont été mesurées. Durant le test progressif, la pression inspiratoire à la bouche ( $PI_B$ ) augmentait à chaque palier de deux minutes. La progression des charges était de 0g, 50g, 100g et 200g ( $\sim 20\text{cmH}_2\text{O}$ ). La  $VO_{2MR}$  a été mesurée à chaque palier et la fréquence respiratoire a été imposée à 12 respirations par minute. Dans les deux groupes, la  $VO_{2MR}$  a augmenté linéairement en fonction du  $\%PI_{max}$  (BM,  $r=0.96$ ,  $p=0.03$  et GT,  $r=0.97$ ,  $p=0.04$ ) et a tendance à être plus faible chez les participants BM que ceux des participants GT (intersection y,  $257\pm 9,4$  et  $307\pm 10,8 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ , et la pente,  $2.92\pm 0.6$  et  $4.27\pm 0.8 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\%PI_{max}^{-1}$ , respectivement). Toutefois, nous n'avons pu atteindre une différence significative entre les deux groupes pour la  $VO_{2MR}$  ( $F(14, 1)=3,7$ ,  $p=0,08$ ,  $P=0,43$ , effet de taille ( $r$ )= $0,21$ ). En conclusion, il semble qu'un test progressif de deux minutes par palier permet de déterminer la progression de la  $VO_{2MR}$  et pourrait servir d'évaluation respiratoire dans le cadre d'un programme de réadaptation.

Mots clés: muscles respiratoires,  $VO_2$ , blessés médullaires, test progressif

## CHAPITRE 1

### INTRODUCTION

La diminution de la capacité fonctionnelle des muscles respiratoires (MR) reste encore aujourd'hui un problème pour les personnes atteintes d'une lésion médullaire. Malgré de nombreuses études sur le sujet, la consommation en oxygène de ces muscles pendant un test respiratoire progressif maximal chez cette population reste à être identifiée.

#### **1.1 Contexte général**

Les difficultés respiratoires sont nombreuses chez les blessés médullaires et nuisent à leur qualité de vie, c'est pourquoi des interventions plus efficaces devront être développées. Les résultats de cette étude permettront d'évaluer la capacité fonctionnelle des MR pour cette population en plus de se questionner sur les interventions actuelles et celles à venir. Scientifiquement, bien que plusieurs auteurs aient mesuré la consommation en oxygène des muscles respiratoires ( $VO_{2MR}$ ), aucun d'entre eux ne s'est intéressé à vérifier cette variable lors d'un test respiratoire progressif sous-maximal chez des participants tétraplégiques. Finalement, ce test pourra être utilisé dans de futures études afin de comparer la consommation en oxygène des muscles respiratoires des blessés médullaires à celle d'autres populations (astronautes, musiciens et MPOC).

## **1.2 Objet de la recherche**

Ce projet cherche à mesurer la  $VO_{2MR}$  pour des participants ayant une blessure médullaire.

## **1.3 Connaissance spécifique**

Une des principales causes de morbidité chez les blessés médullaires est la complication d'une infection des voies respiratoires, en particulier une pneumonie. Il devient difficile chez cette population d'expulser le mucus, car les MR ne fonctionnent plus efficacement, ce qui contribue à l'incidence de certaines maladies respiratoires (Schilero et al., 2009 et VanHoutte, Vanlandewijck et Gosselink, 2006). C'est pourquoi certaines études tentent d'entraîner ces muscles, mais aucun des protocoles n'utilise la consommation en oxygène pour évaluer l'effet de l'entraînement sur ceux-ci. Pourtant, la consommation en oxygène est considérée un critère d'estimation de la capacité fonctionnelle d'un groupe musculaire (Devillard, 2007 et Léger, Bosquet et Legros, 2002) et elle est utilisée chez les sportifs pour adapter le programme d'entraînement (Léger, Bosquet et Legros, 2002). Il serait donc pertinent de songer à l'utiliser pour la réadaptation des MR. Par conséquent, le protocole développé permettra, non seulement d'observer plus spécifiquement la relation blessure médullaire et capacité fonctionnelle des muscles respiratoires comme il a été souligné par certains auteurs (Schilero et al., 2009), mais également proposer un protocole d'évaluation avec une technologie plus précise et fournissant plus d'informations.

#### **1.4 Énoncé du problème**

Quelle est la consommation en oxygène des muscles respiratoires ( $VO_{2MR}$ ) durant une épreuve inspiratoire progressive sous-maximale chez les blessés médullaires?

#### **1.5 Hypothèse**

L'hypothèse formulée est que la  $VO_{2MR}$  sera moindre pour les participants ayant une lésion médullaire étant donné que les dernières études (Schilero et al., 2009) ont observé un volume courant plus bas pour ces participants.

#### **1.6 Limites**

##### **Validité interne**

Comme il sera vu plus loin, l'échantillon du projet est assez restreint afin de le rendre réaliste. Ce choix sera justifié par la littérature dans la section "Participants" (3.2). Il faut également mentionner l'utilisation d'une valve seuil fait maison. Pour assurer la validité de la pression fixée avec la valve seuil, des tests préliminaires ont permis d'établir l'indépendance du débit par rapport à la pression développée à la bouche.

##### **Validité externe**

Lors du recrutement des participants, seules les personnes adultes non-fumeuses, sans complication cardio-pulmonaire sévère (maladie coronarienne instable, maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) sévère, insuffisance cardiaque) ont été retenues.

Il est possible que les participants ne voient pas immédiatement l'application de cette recherche. Toutefois, cette recherche aidera à revoir les méthodes de réadaptations/interventions utilisées pour améliorer leur qualité de vie.

De plus, ce protocole pourra être utilisé pour des recherches sur d'autres populations (personnes atteintes de MPOC, musiciens, astronautes), mais il est impossible de savoir si les données recueillies seront transférables. C'est pourquoi d'autres tests préliminaires devront être effectués avant la mise sur pied de ces études à venir.

### **1.7 Importance**

Malgré les nombreuses études sur les MR, la consommation en oxygène chez les blessés médullaires durant un test respiratoire progressif reste à être identifiée. Pourtant, selon Devillard et al. (2007) la consommation en oxygène est utilisée afin d'estimer la capacité fonctionnelle d'un groupe de muscles. De plus, ce projet permettra de se questionner sur les interventions à venir afin d'améliorer l'endurance des muscles respiratoires et la qualité de vie des personnes atteintes d'une lésion médullaire. Aussi, ce protocole pourra être utilisé avec d'autres populations (MPOC, astronaute...) afin de développer des interventions selon les besoins de celles-ci.



## CHAPITRE 2

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

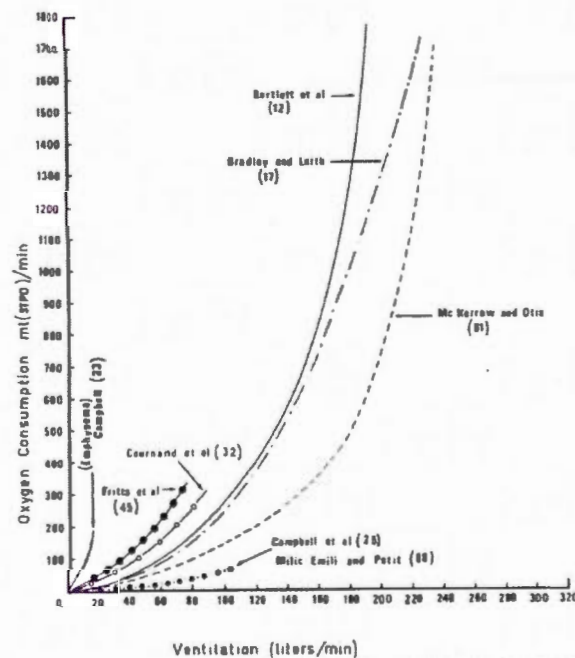


FIG. 6. Oxygen cost of breathing at various levels of ventilation. Ventilation is increased either by breathing through a dead space or voluntarily (administering CO<sub>2</sub> to avoid hypocapnia). Note variability among studies and steep slope of patients with emphysema. [From Roussos (118).]

**Figure 2-1: Consommation en oxygène (mL/min) en fonction de la ventilation (L/min)**  
Référence : Roussos et Campbell (1988)

### Classiques

Lors des premières études (1956-1978) sur les MR, certains chercheurs ont étudié le coût énergétique de ceux-ci chez des participants sains (figure 2-1). Toutefois, il



existe une grande variation entre les résultats obtenus par les différentes études retenues par Roussos et Campbell (1998). En fait, Roussos et Campbell (1998) expliquent ces variations par le choix du matériel et les méthodes utilisées qui étaient différentes.

Cependant, à ce jour, il y a peu d'études qui ont mesurés la consommation en oxygène des muscles respiratoires chez des personnes ayant une lésion.

Fulg-Meyer (1971) a démontré que lorsqu'une lésion médullaire se situait en bas de C5, il y avait innervation complète du diaphragme. Cependant, des participants tétraplégiques ayant une lésion en dessous de C5 étaient tout de même exposés à certains handicaps reliés à la résistance respiratoire. D'ailleurs, l'auteur a observé chez ces participants une diminution de la capacité respiratoire, ce qui impliquait une diminution de la capacité vitale. Par la suite, Roussos et Macklem (1977) ont observé un élément important en démontrant que le diaphragme pouvait se fatiguer. Lorsque le diaphragme est fatigué, d'autres muscles viennent soutenir les fonctions respiratoires alors que le diaphragme continue à fonctionner « indéfiniment », mais à moindre intensité, plus précisément à moins de 40% de la P<sub>I</sub>max. Roussos et Macklem (1977) affirment dans leur article que cela se produit lorsque le diaphragme doit générer durant un certain temps une pression égale ou plus élevée que 40% de la P<sub>I</sub>max à capacité résiduelle fonctionnelle chez des participants sans problème respiratoire. Depuis, certains auteurs se sont questionnés sur l'endurance des muscles respiratoires, ces études ont été utiles pour élaborer le protocole.

Tout d'abord, il fallait élaborer un protocole afin de mesurer l'endurance des muscles respiratoires. Nickerson et Keens (1982) proposèrent une première méthode d'évaluation de l'endurance des muscles respiratoires. Elle fut par la suite utilisée et modifiée par d'autres auteurs (Morrison, Fairbairn et Pardy, 1989, Eastwood et al., 1998, Fiz et al. 1996).

Ensuite, Fiz et al. (1996) cherchèrent des « indices d'endurances » en relation avec les P<sub>I</sub>max et P<sub>E</sub>max, le sexe, l'âge et les valeurs anthropométriques afin de connaître les variables qui pouvaient influencer l'endurance respiratoire. Les auteurs ont

découvert que l'âge et la taille pouvaient faire varier l'endurance de ces muscles, mais que le sexe n'était pas un indice significativement important pour l'influencer.

### **Protocoles actuels des muscles respiratoires**

Il existe aujourd'hui de nombreux tests pour mesurer l'endurance des muscles respiratoires. Seulement, chaque auteur semble avoir utilisé un nouveau protocole ou a effectué certaines modifications dans la méthodologie d'un auteur précédent (voir tableau 2-1).

**Tableau 2-1 : Exemples de tests d'endurance des muscles respiratoires**

Test	Matériel	Références
Ventilation maximale volontaire (MVV)	Spiromètre	Silva et al. (1998), Trooster, Gosselink et Decramer (2005), Ratnovski, Elad et Halpem (2008)
Test progressif contre une charge respiratoire	valve Hans Rudolf ou autre valve à charge incrémentée	Ratnovsky, Elad et Halpern (2008), Martyn et al. (1987), Fiz et al.(1996), Johnson, Cowley et kinnear.(1997)
Temps maximal à un % PImax	Valve Hans Rudolf ou autre valve à charges incrémentées	Trooster, Gosselink et Decramer (2005), Ratnovsky, Elad, Halpem (2008), Nickerson et Keens (1982)

L'utilisation d'appareil est aussi variée (Tableau 2-1), mais il est possible de noter une tendance dans l'utilisation de la valve seuil qui sera décrite plus loin. De plus, la plupart des méthodologies sont utilisées pour des participants atteints de maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC). Il est à noter qu'il est légitime de se questionner sur la nature réelle de ce qui est mesuré par les tests se disant épreuve d'endurance. En fait, le test de MVV et le test progressif se rapprochent plus d'un test de puissance des muscles respiratoires étant donné que ces tests ne vont pas au-delà de la décroissance de la puissance. Le seul test s'appariant à un test d'endurance est le test permettant de mesurer le temps maximal à un %PImax. Par contre, comme la majorité des auteurs associent endurance aux tests présentés dans le Tableau 2-1, nous utiliserons ce terme dans ce mémoire.

### **Valve seuil**

La valve seuil est l'appareil utilisé pour la plupart des protocoles de mesure de l'endurance des muscles respiratoires. Il existe différents fonctionnements, mais le principe reste le même. Le participant doit développer une pression à la bouche (notée en  $\text{cmH}_2\text{O}$ ) imposée par l'appareil qui, lorsqu'elle est atteinte, permettra d'ouvrir la valve afin de faire entrer l'air pour inspirer.

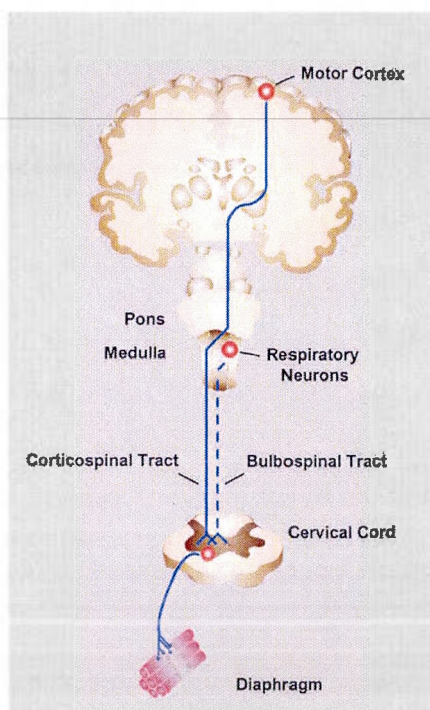
Pour la présente étude, deux tests ont retenu notre attention : le test progressif d'endurance de Johnson, Cowley et Kinnear (1997) avec une valve seuil et le test de temps maximal en résistance proposé par Nickerson et Keens (1982). Le test progressif d'endurance avec la valve seuil est un test par palier de deux minutes jusqu'à ce que le participant ne puisse plus soutenir la pression imposée par la valve seuil. Tandis que le test de temps maximal en résistance impose une pression constante égale à 60% de la  $P_{\text{Imax}}$ , le participant doit soutenir cette pression le plus longtemps possible. Il est à noter que selon ces auteurs, un participant sans problème respiratoire devrait être en mesure de respirer contre cette pression plus de 10 min, en dessous de ce temps le participant aurait des MR affaiblis. Selon Troosters, Gosselink et Decramer (2005), la fatigue pourrait être reliée au patron respiratoire, c'est-à-dire au ratio temps inspiratoire ( $T_i$ ) sur le temps respiratoire total ( $T_{\text{tot}}$ ) qui devrait se situer autour de 0,4 durant le test afin d'éviter une fatigue accrue et appuierait ainsi l'étude de Roussos et Macklem (1977) sur la fatigue du diaphragme.

### Neurologie du système respiratoire

Le système respiratoire est unique en plusieurs points, c'est pourquoi il est important d'apporter une brève explication de son fonctionnement. Le contrôle nerveux de la respiration se subdivise en deux mécanismes distincts et indépendants : le contrôle volontaire et celui automatique (Hudson, Gandevia et Butler, 2011; Butler, 2007).

#### *Contrôle automatique de la respiration*

Le contrôle automatique de la respiration est généré dans la région ventrolatérale du bulbe rachidien. Deux régions ont été identifiées dans la production du rythme respiratoire; l'oscillateur responsable du contrôle de l'inspiration est localisé dans le complexe preBötzinger et celui de l'expiration est situé dans la zone du nucleus retrotrapezoid/groupe respiratoire parafacial (Hudson, Gandevia et Butler, 2011; Butler, 2007).



**Figure 2-2: Schéma du contrôle volontaire et automatique de la respiration**

Référence : Laghi F. et Tobin (2003)



Durant l'inspiration les neurones dans la région du complexe pré-Bötzinger génèrent un rythme inspiratoire via des connexions chimiques et électriques grâce à des courants ioniques continu sodique et calcique (Hudson, Gandevia et Butler. 2011). Ce rythme peut être altéré par des réflexes provenant des poumons ou des chimiorécepteurs centraux ou périphériques sensibles à la pression partielle de dioxyde de carbone dans le sang artériel ( $\text{PaCO}_2$ ), faisant ainsi varier la fréquence respiratoire activée par les neurones prémotrices situées dans les régions ventrolatéral et dorsomédial du bulbe rachidien. La projection des axones provenant des différents centres respiratoires (groupe respiratoire pontine, groupe respiratoire dorsal et ventral, cortex cérébral et les autres structures surpontiennes) descendent le long de la moelle épinière sur la surface antérolatérale vers les motoneurones phréniques, intercostaux et du muscle abdominal (figure 2-2). Dans la respiration, l'expiration est une activité assez passive et l'activité neurale dans le bulbe rachidien est seulement activée quand la ventilation augmente (Butler 2007).

#### *Contrôle volontaire de la respiration*

Il est nécessaire d'interrompre le contrôle automatique de la respiration lors de fonctions volontaires de la respiration, tel que chanter, parler et mâcher (Butler 2007). Chez l'humain, il existe quelques évidences neurologiques qu'une voie corticospinale directe entre le cortex moteur et les muscles inspiratoires permettrait un contrôle volontaire de l'inspiration. Il est possible que cette voie contourne les centres respiratoires pontomédullaires, ce qui impliquerait que l'intégration volontaire et involontaire transmet devrait être au niveau des motoneurones et interneurones vertébrales (Butler 2007, Hudson, Gandevia et Butler 2011), mais cette voie n'est pas bien connue.

*Implication du nerf vague*

Le nerf vague change le patron respiratoire en fonction de rétroactions avec la distensibilité (compliance) des poumons et de la cage thoracique. Le patron respiratoire peut être altéré par une hémisection au niveau C2, mais sans modifier le débit ventilatoire qui reste semblable pour un groupe de participants ayant une lésion à ce niveau et un groupe de participants sans lésion (Goshgarian 2009).

## Les muscles respiratoires chez les blessés médullaires

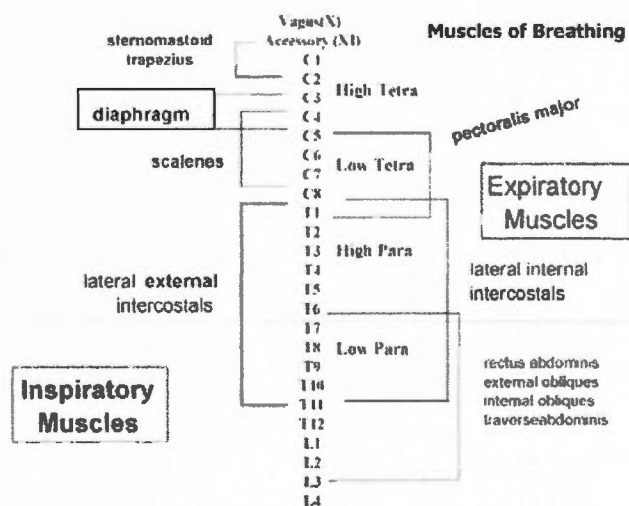


Figure 2-3: Diagramme des niveaux d'innervation des muscles inspiratoires et expiratoires

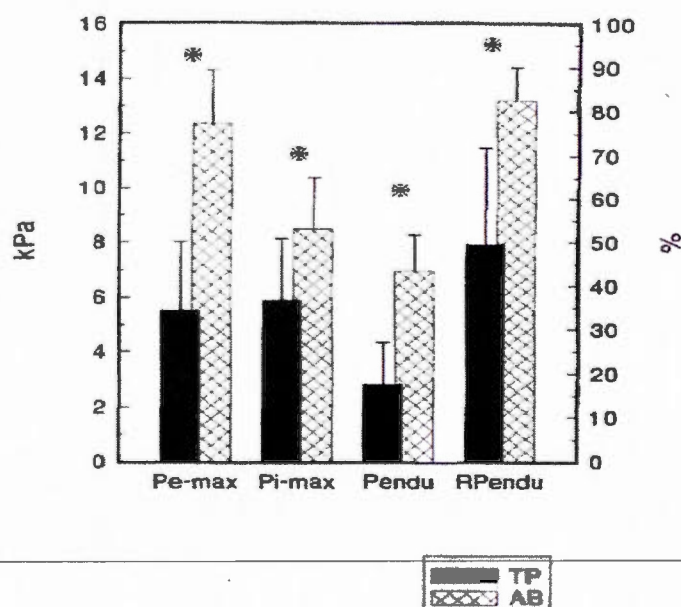
Référence : Schilero et al. (2009)

Schilero et al. (2009) ont résumé les niveaux d'innervation des muscles respiratoires par un diagramme (figure 2-3). On remarque que le diaphragme a été accentué étant donné qu'il est l'acteur principal de l'inspiration.

À la vue de ce diagramme, il est plausible de croire que les personnes atteintes d'une lésion médullaire respirent moins aisément qu'une personne saine. En outre, Garshick et al. (2005) ont découvert qu'une des principales causes de mortalité est associée à des complications respiratoires chez les BM. De plus, Forner (1980) a observé chez des participants ayant une lésion cervicale (C5-C8) une diminution d'environ 50% de la capacité vitale et d'environ 70% de la capacité totale du poumon. Dans la même optique, Hopman et al. (1997) ont comparé des participants tétraplégiques à un groupe témoin constitué de personnes en bonne santé et ils ont pu démontrer que les



pressions inspiratoires et expiratoires maximales étaient moindres chez les participants atteints d'une lésion médullaire élevée (figure 2-4).



**Figure 2-4: Pressions inspiratoire et expiratoire maximales pour des participants tétraplégiques (TP) et sans blessure médullaire (AB)**

Référence : Hopman et al. (1997)

Les effets d'une blessure médullaire sur la neurologie du système respiratoire permettent de corroborer ces observations. Le diaphragme est innervé par les motoneurones du nerf phrénique qui se situent dans la corne ventrale; entre C3-C5 (Zimmer, Nantwi et Goshgarian, 2007 et Zimmer, Nantwi et Goshgarian, 2008). Étant donné que les neurones prémoteurs de l'inspiration et de l'expiration descendent dans le funiculi ventral et latéral et rejoignent la matière grise de la moelle épinière au niveau du nerf phrénique, une lésion au niveau du C2 hémisection interromprait cette voie et engendrait une paralysie de l'hémidiaphragme ipsilatéral (Zimmer, Nantwi et

Goshgarian, 2008). Une paralysie d'un hemidiaphragme résulte en une diminution importante du volume courant et donc d'une augmentation de la fréquence respiratoire (Zimmer, Nantwi et Goshgarian, 2008). Les changements dans le patron respiratoire après une lésion médullaire résulteraient donc de la rétroaction vagale produite par les changements de la compliance des poumons et de la cage thoracique dû à la paralysie de l'hemi-diaphragme et des muscles intercostaux (Zimmer, Nantwi et Goshgarian, 2008).

À la lueur de ces études, quelques chercheurs ont commencé à proposer des méthodes d'interventions. Les techniques de respiration proposées par Bodin et al. (2003)

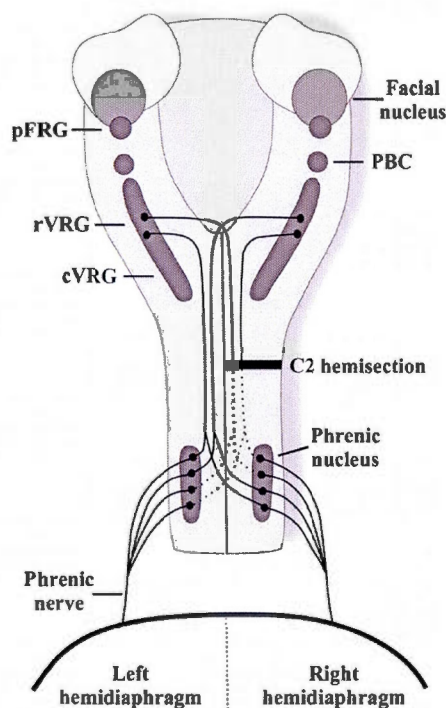


Figure 2-5: Schéma respiratoire chez le rat

Référence : Zimmer Nantwi et Goshgarian, (2007)

exigeaient que des participants tétraplégiques (C5-C8) utilisent trois différentes techniques; des respirations profondes sans résistance, une pression positive à

l'expiration avec résistance durant l'expiration et une résistance durant l'inspiration et l'expiration. Les résultats observés ont été une d'augmentation de débit et du volume respiratoire des participants tétraplégiques avec la méthode de respiration profonde par rapport aux valeurs de repos (sans utilisation de technique respiratoire). La conclusion de cette étude suggère utilisation de ces techniques à long terme. Par contre, Van Houtte, Vanlandewijck et Gosselink (2005) ont noté que deux études sur l'entraînement en endurance des muscles respiratoires avec résistance à long terme n'avaient eu aucun effet sur des blessés médullaires. Toutefois, ils ont remarqué que leur échantillon était restreint. Un autre type d'entraînement a été proposé par Foll-de Moro (2005) pour améliorer l'efficacité ventilatoire; les participants paraplégiques devaient faire un entraînement cardiovasculaire par intervalles, trois fois par semaine pour un total de six semaines. Il en résulta une amélioration de la ventilation. Devillard et al. (2007), Sheel et al. (2008) et Silva et al. (1998) présentèrent une recension des écrits sur ce type d'entraînement pour des participants ayant une blessure médullaire; en plus d'améliorer le système cardiovasculaire, des études corroborent l'amélioration du système respiratoire. Il est à noter que dans la recension des écrits de Sheel et al. (2008) deux études n'observaient aucune différence significative à la fin de l'entraînement, mais qu'il est possible que ce soit dû à l'échantillon restreint et/ou à l'intensité trop basse de l'entraînement.

## CHAPITRE 3

### MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Introduction

Comme il a été discuté dans la section "Revue de la littérature", la capacité fonctionnelle des muscles respiratoires chez les blessés médullaires diminue, surtout pour les atteintes élevées. C'est pourquoi il est important d'évaluer cet aspect afin d'intervenir le plus efficacement. L'objet de cette étude est de mesurer la consommation en oxygène des muscles respiratoires lors d'un test inspiratoire sous-maximal chez des participants tétraplégiques.

#### 3.2 Participants

##### Population

Comme il a été mentionné dans l'introduction, la population de cette étude est constituée de blessés médullaires. Il est important de préciser que les participants ont été regroupés en deux groupes, un groupe tétraplégique (C4-T1) et un groupe témoin. Les participants ont été recrutés par annonces de recrutement publié par l'Association de la moelle épinière et motricité du Québec, Viomax et l'Association québécoise des sports en fauteuil roulant.

##### Critères de sélection

Des critères d'inclusions et d'exclusions ont été déterminés pour la sélection des participants. Les participants adultes ( $\geq 18$  ans) ont été recrutés selon les critères suivants : blessés médullaires totaux ou partiels entre C4-T1 depuis au moins un an<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> Afin d'assurer d'une stabilité dans les résultats. (Bodin et al. 2003 et l'American Spinal Injury Association.)

sans complication cardio-pulmonaire sévère (maladies coronariennes instables, insuffisance cardiaque, maladies pulmonaires obstructives chroniques sévères).

Les participants fumeurs et ceux souffrant de maladies respiratoires ont été exclus étant donné que les données en seraient affectées.

### **Nombre de participants**

Le nombre de participants a été calculé par la méthode de Cohen (1969) à partir de données de  $VO_2$  max sur ergocycle chez des blessés médullaires correspondant au niveau d'atteinte de nos deux groupes (Jassen et al. 1996). Par contre, le nombre obtenu est difficilement atteignable, soit 175 personnes par groupe. Bien que la puissance de l'étude soit moindre avec un nombre plus restreint, la littérature fait état d'échantillon généralement constitué entre 6 et 20 participants, étant donné la complexité de recruter des blessés médullaires. Pour cette étude, le groupe témoin compte 10 participants et le groupe tétraplégique en compte 6, étant le nombre maximal atteint lors du recrutement. Il est à noter que deux autres participants ayant une basse lésion (entre T4 et L2) ont été retenus et que leurs données seront soulignées à titre de test préliminaire chez cette population.

### **Aspects déontologiques et consentement**

Avant de commencer toute expérimentation, l'étude a été soumise au comité d'éthique du CRIR afin d'avoir leur consentement déontologique. Il est important de noter qu'il y a eu une demande de reconnaissance auprès de l'Université du Québec à Montréal. De plus, un formulaire de consentement a été lu et signé par le participant afin que celui-ci prenne connaissance des exigences qu'impliquaient cette étude.

### **3.3 Conditions (variables indépendantes)**

Cette expérience présente une variable indépendante unique, présence ou non de lésion médullaire. Toutefois, afin d'assurer une validité interne accrue, les conditions de la pièce où se déroulaient les tests correspondaient aux conditions normalisées (20 à 22°C, HR~50%).

Schéma expérimental

Le schéma expérimental est présenté au Tableau 3-1 où on retrouve les deux groupes (Témoin et Tétra) et les variables dépendantes retenues pour l'analyse.

Tableau 3-1 : Schéma expérimental

Groupe	Coût en oxygène	Charge de la valve	VE	Volume courant	FC	VO2MR	PIB	CV	PImax	PEmax
Tétra										
Témoin		seuil								

Témoin, groupe témoin ; Tétra, tétraplégique ; VE, débit ventilatoire; FC, fréquence cardiaque ; VO2MR, consommation en oxygène des muscles respiratoires ; PIB, pression inspiratoire à la bouche durant le test ; CV, capacité vitale lente ; PImax, pression inspiratoire maximale ; PEmax, pression expiratoire maximale. Voir section 3.4 pour l'explication complète des mesures.



### Schéma de montage

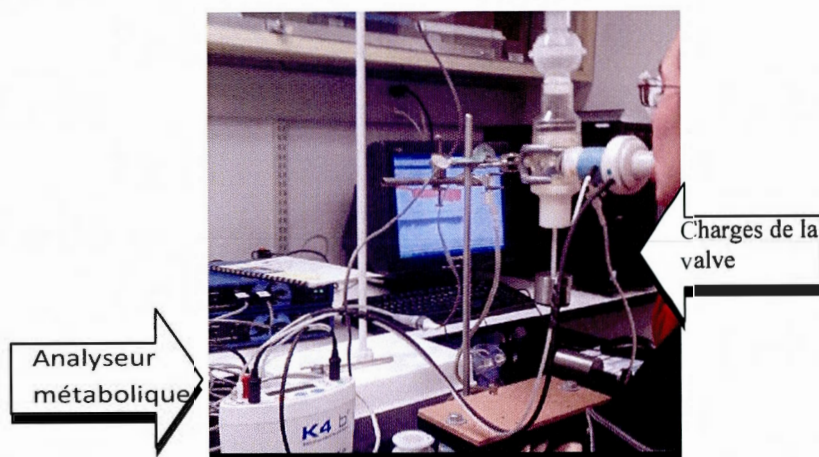


Figure 3-1: Schéma de montage

### 3.4 Mesures (variables dépendantes)

Les variables dépendantes ont été mesurées de la manière suivante :

Le coût en oxygène des muscles respiratoires ( $VO_{2MR}$ ), la pression inspiratoire durant le test ( $PI_B$ ), le temps inspiratoire ( $T_i$ ), la saturation en oxygène et le débit respiratoire ont été enregistrés à chaque palier par l'analyseur métabolique portable (K4b2 Cosmed, *It.*) et un enregistreur de pression (Transducteur de Pression, Validyne, Northridge, Californie, *É.-U.*). Pour les pressions inspiratoires maximales ( $PI_{maxCRF}$  et  $PI_{maxVR}$ ) et pressions expiratoires maximales ( $PE_{maxCRF}$  et  $PE_{maxCPT}$ , respectivement), celles-ci ont été mesurées à l'aide d'un embout buccal et d'un capteur de pression, telle qu'illustrée à la figure 3-1. Ces tests étaient effectués au



début de la séance. De plus, la capacité vitale lente a été mesurée à l'aide d'un spiromètre (spiromètre, CareFusion, É.-U.). La pression à la bouche imposée par la valve seuil a été notée à chaque palier durant l'épreuve. Cette pression représente la charge sous forme de plaquettes (~100g / plaquette) qui ont été ajoutées progressivement et la pression est exprimée en cmH<sub>2</sub>O (figure 3-2). En dernier lieu, la fréquence cardiaque a été prise à l'aide d'un cardiofréquencemètre (ceinture T31, Polar, Fi) relié à l'analyseur métabolique portable (K4b2 Cosmed, It.).

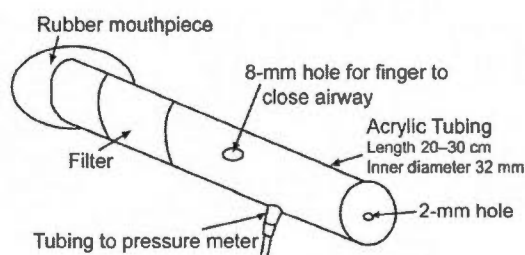


Fig. 1. Apparatus for testing maximal inspiratory pressure and maximal expiratory pressure.

**Figure 3-2: Illustration de l'appareil utilisé pour mesurer les pressions inspiratoires et expiratoires maximales à la bouche**

Référence : Evans et Whitelaw (2009)

### 3.5 Procédures

Le déroulement de l'expérimentation est décrit en détail dans le texte qui suit. La durée de l'expérimentation ne durait pas plus de 85 minutes (figure 3-3).

Préalablement, le participant a été accueilli afin que celui-ci soit encadré dans le projet de recherche. Par la suite, il devait lire, comprendre et signer le formulaire de consentement. Après quoi le déroulement de la séance lui a été expliqué.

*Spirométrie : capacité vitale lente (CV)*

Le participant était en position assise avec un embout buccal et un pince-nez . Il devait respirer le plus naturellement possible. Lorsque le spiromètre indiquait «prêt», le participant devait effectuer une inspiration lente complète suivie d'une expiration lente complète d'une durée minimale de 8 secondes. Le test a été effectué et le meilleur résultat de trois essais a été retenu.

Un repos de 5 minutes a été accordé au participant avant de poursuivre avec le prochain de test.

*Protocole de la pression inspiratoire maximale (PImax)*

L'embout buccal a été relié à un capteur de pression comme illustré à la figure 7 et remis au participant. Le participant dont le nez était maintenu pincé devait expirer afin de vider le maximum d'air des poumons dans le but d'atteindre le volume résiduel (VR) du participant. Après quoi il devait inspirer le plus fort possible à travers l'embout pour enregistrer la PImax. Un repos d'une minute était accordé au participant. Le test a été effectué et le meilleur résultat de trois essais a été retenu.

(Simoes et al. 2010).

Un repos de 5 minutes était accordé au participant avant de poursuivre avec le prochain de test.

*Protocole de la pression expiratoire maximale (PEmax)*

Le participant était placé dans la même position que pour le protocole de la PImax. La personne devait inspirer à fond jusqu'à capacité pulmonaire totale (CPT), puis expirer le plus fort possible dans l'embout buccal. Un repos d'une minute était accordé au participant. Le test a été effectué et le meilleur résultat de trois essais a été retenu.

### *Protocole de l'épreuve inspiratoire progressive*

Le participant devait être assis dans sa position habituelle, sur une chaise pour le groupe témoin ou sur sa chaise roulante ou motorisée pour le groupe tétra, durant toute l'expérimentation. L'embout buccal fixé à la valve seuil a été mis en place sur celui-ci et était relié à un système d'analyse d'échanges gazeux (K4b2 Cosmed, It.). Un cardiofréquencemètre a été posé sur le torse du participant afin de capter les fréquences cardiaques durant l'épreuve.

La fréquence respiratoire a été imposée par un métronome à 12 respirations/minute. Cette décision a été prise suite aux pré-tests où la  $VO_{2MR}$  mesurée durant le test progressif sans fréquence respiratoire imposée ne permettait pas d'observer d'évolution entre les paliers. De plus, le rythme de 12 respirations/min avait été utilisé lors d'une étude précédente (Martyn et al., 1987). En outre, Morrison, Fairbairn et Pardy (1989) n'ont observé aucune différence sur la charge inspiratoire maximale entre les cadences respiratoires pour ce type de test. Le débit respiratoire, la consommation en oxygène ( $VO_2$ ), la fréquence cardiaque, la saturation en oxygène et la pression inspiratoire à la bouche ( $PI_B$ ) ont été enregistrées durant l'épreuve par le système d'analyse d'échanges gazeux (K4b2 Cosmed, It.) et le transducteur de pression (Validyne, Northridge, Californie, É.-U.).

Le participant débutait sans charge afin de s'acclimater à la valve, après deux minutes une charge de 50g (~huit cm d' $H_2O$ ) a été ajoutée, celle-ci augmentait à 100g (~10 cm  $H_2O$ ) puis de 100g à chaque palier suivant. Chaque palier était d'une durée de deux minutes. La charge totale était notée à la fin de chaque palier ainsi que la perception de l'effort (échelle omni modifiée, voir annexe1). Le test cessait si le participant avait un malaise, s'il n'arrive plus à maintenir la cadence, ou s'il ne pouvait plus exercer une pression suffisante contre la charge demandée après trois répétitions consécutives. Il est à noter que la majorité des participants demandaient l'arrêt du test à cause de l'inconfort dû à l'embout buccal. De plus, les résultats seront présentés jusqu'au palier de 200g car trois participants ont dû arrêter après avoir

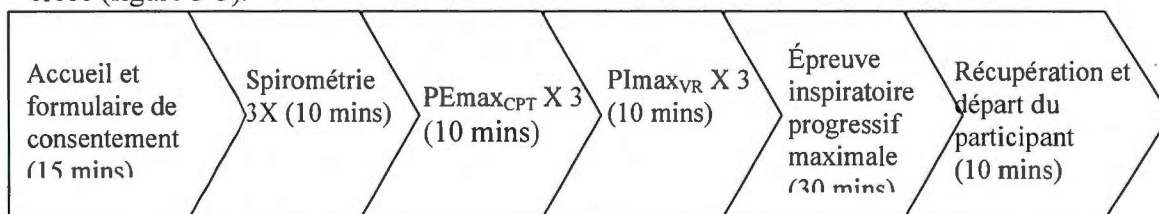
complété ce palier, ce qui correspond à un effort sous-maximal pour la majorité des participants. La charge durant le dernier palier du test, la pression inspiratoire à la bouche durant l'épreuve, la pression inspiratoire développée à la bouche lors du dernier palier ( $PI_{MRmax}$ ) et la  $VO_2$  de pointes reliées aux valeurs observées à la fin du dernier palier complété ont été notées. De plus, une échelle de perception de l'effort (OMNI modifiée) a été utilisée afin de noter la perception du participant à la fin de chaque palier.

Finalement, le participant avait une période de récupération. Les fréquences cardiaques devaient être revenues à celles de repos avant de raccompagner le participant.

#### *Calibration et aspects méthodologiques*

La calibration de l'analyseur métabolique portable (K4b2 Cosmed, *It.*) et du spiromètre (spiromètre, CareFusion, *É.-U.*) a été effectuée avant chaque test selon les normes du fabricant. En outre, la valve seuil a été étalonnée lors de tests préliminaires pour définir le nombre des plaquettes de poids nécessaires pour faire correspondre la pression (exprimée en  $cmH_2O$ ) requise à la bouche pour chaque palier d'une durée de deux minutes. Initialement, nous avons ciblé une augmentation de la pression à la bouche de 10  $cmH_2O$  toutes les deux minutes, ce que nous avons réussi à obtenir à  $\pm$  trois  $cmH_2O$  avec une augmentation de 100g de poids ajouté.

Afin de mieux visualiser l'aspect temporel de la séance, une échelle du temps a été créée (figure 3-3):



**Figure 3-3: Échelle de la séance.** Le temps total maximum est de 85 minutes.

### 3.6 Quantification et analyses

Les valeurs sont présentées comme suit: moyenne  $\pm$  l'écart-type (E.T.). L'étude est constituée de deux groupes indépendants (tétraplégique et groupe témoin). L'échelle de mesure est rationnelle. Les deux groupes furent comparés à l'aide d'un test t corrigé à l'aide de la procédure de Bonferroni. La différence entre les paliers par un test d'ANOVA à mesures répétées. La différence significative fut définie à  $p < 0,05$ . Les analyses furent effectuées à l'aide du logiciel SPSS (Version 20.0).

## CHAPITRE 4

### RÉSULTATS

#### 4.1 Caractéristiques des participants

Un total de 10 participants sains (six hommes et quatre femmes) et six participants tétraplégiques (cinq hommes et une femme) ayant un niveau de lésion entre C5 et C7 ont complété le test de capacité vitale et le test respiratoire progressif sous-maximal. Toutefois, un participant du groupe témoin et un participant du groupe Tétra n'ont pu compléter les tests de pressions inspiratoire et expiratoire maximales (tableau 4-1). Il est à noter que deux participants paraplégiques (T4- L2) ont complété ces tests, mais étant donné le nombre restreint de ce groupe, leurs données seront mentionnées à titre de données préliminaires. L'âge, les caractéristiques anthropométriques, la capacité vitale lente et les pressions inspiratoire et expiratoire maximales sont présentés dans le tableau 4-1. La capacité vitale du groupe tétraplégique est moindre que celle du groupe témoin;  $3,19 \pm 1,17$  L et  $4,83 \pm 1,3$  L respectivement ( $p < 0,05$ ). Bien que les moyennes de P<sub>I</sub>max et P<sub>E</sub>max soient moindres pour le groupe Tetra, nous n'avons pu observer de différence significative entre les deux groupes ( $p=0,29$  pour la P<sub>I</sub>max et  $p=0,51$  pour la P<sub>E</sub>max).

**Tableau 4-1: Caractéristiques des participants**

Groupes	Âges (ans)	Taille (cm)	Poids (kg)	CV (L)	PI <sub>max</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	PE <sub>max</sub> (cmH <sub>2</sub> O)
<b>Tétra (5H, 1F)</b>	36,5 ± 8,0	174,8 ± 7,8	71,7 ± 10,6	3,19 ± 1,17*	-87,5 ± 29,5**	108,4 ± 23,1**
<b>Témoin (6H, 4F)</b>	34,3 ± 8,7	173,0 ± 8,9	78,0 ± 13,1	4,83 ± 1,30	-107,7 ± 40,0	118,8 ± 35,4

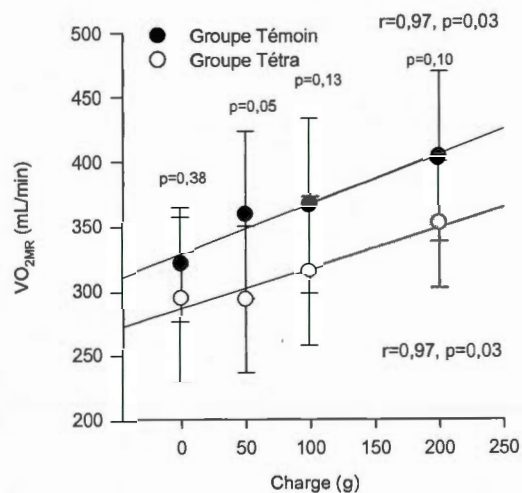
\*Différence significative entre les deux groupes ( $p < 0,05$ )

\*\* Les résultats pour 1 participant du groupe Témoin et 1 participant du groupe Tétra n'ont pu être gardé pour défaut de matériel.

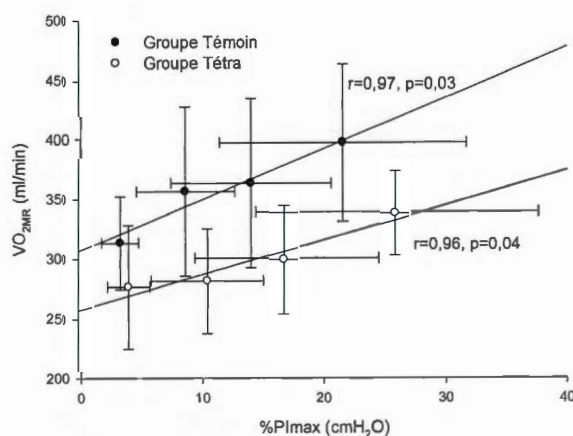
À titre de données préliminaires, la moyenne des résultats des participants paraplégiques (non retenues pour l'analyse finale) pour ces tests sont :  $-126 \pm 28$  et  $148 \pm 3$  cmH<sub>2</sub>O pour la PI<sub>max</sub> et la PE<sub>max</sub> respectivement et une CV de  $3,2 \pm 0,3$  L



## 4.2 Test respiratoire progressif sous-maximal



**Figure 4-2: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  en fonction de la charge pour les deux groupes.**  
La régression linéaire y est représentée :  $r=0,97$  pour le groupe Témoin et  $r=0,97$  pour le groupe Téra



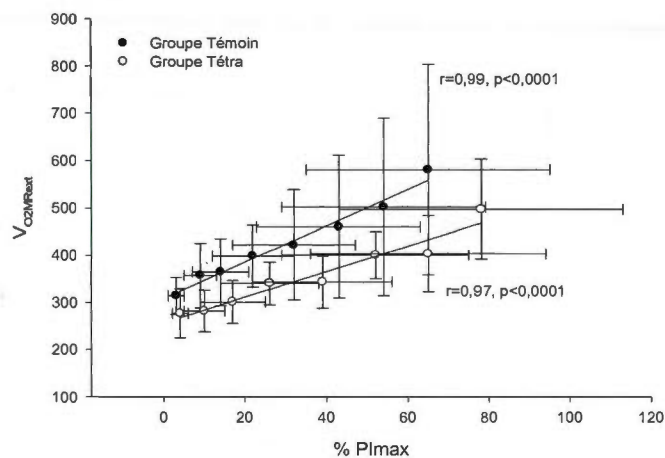
**Figure 4-1: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  en fonction du %PImax pour les deux groupes**  
La régression linéaire y est représentée :  $r=0,97$  pour le groupe Témoin et  $r=0,96$  pour le groupe Téra



La  $VO_{2MR}$  en fonction de la charge (C) ainsi que la  $VO_{2MR}$  en fonction du %PImax ont une relation linéaire pour les 4 premiers paliers et cela pour les deux groupes (figures 4-1 et 4-2). Les équations de ces deux relations sont:  $VO_{2MR} = 0,39 \times C + 328,80$  ( $r=0,97$ ,  $p=0,03$ ) pour le groupe Témoin,  $VO_{2MR} = 0,31 \times C + 286,40$  ( $r=0,97$ ,  $p=0,03$ ) pour le groupe Tétra,  $VO_{2MR} = 4,27 \times \%PImax + 306,66$  ( $r=0,97$ ,  $p=0,03$ ) pour le groupe témoin et  $VO_{2MR} = 2,92 \times \%PImax + 257,24$  ( $r=0,96$ ,  $p=0,04$ ) pour le groupe Tétra. La différence entre les pentes pour la relation  $VO_{2MR}$  extrapolée en fonction du %PImax n'est pas significative. ( $t=1,39$ ;  $t$  significatif à  $,05=4,35$ ). De plus, nous n'avons pu atteindre une différence significative entre les deux groupes pour la  $VO_{2MR}$  ( $F(14, 1)=3,7$ ,  $p=0,08$ ,  $P=0,43$ , effet de taille ( $r$ )=0,21). Par contre, nous pouvons observer une tendance où le groupe Tetra semble avoir des valeurs inférieures de  $VO_{2MR}$  et cela en fonction de la charge et du %PImax (figures 4-1 et 4-2). De plus, pour le deuxième palier (50g) la différence entre les deux groupes est de  $p=0,05$ . Il est à noter que la moyenne de la  $VO_{2MR}$  des deux participants paraplégiques se situe entre les valeurs du groupe témoin et celles du groupe tétra (305, 340 et 342 ml/min pour les paliers de 0g, 50g et 100g respectivement). À titre de données préliminaires obtenues chez des participants paraplégiques, la moyenne de la  $VO_{2MR}$  pour les paliers de 0g, 50g, 100g et 200g sont de  $305 \pm 46$ ,  $340 \pm 40$ ,  $342 \pm 54$  et  $334 \pm 32$  ml/min respectivement.

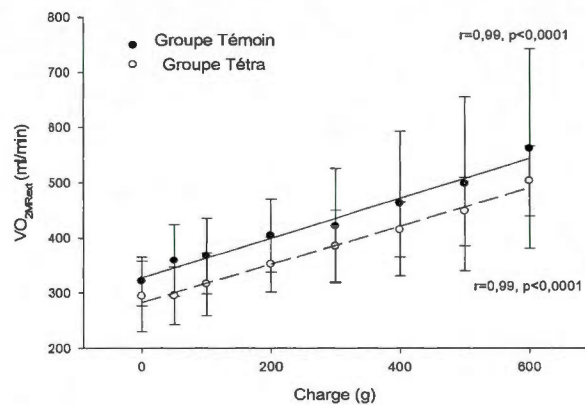
Seuls les 4 paliers sont représentés dans les figures 4-1 et 4-2, car trois participants n'ont pu compléter le palier de 300g pour cause d'inconfort et ne correspondent donc pas à leur  $VO_{2MR}$  maximale. Par contre, il nous a été possible d'extrapoler ces valeurs afin d'observer la relation jusqu'à 600g; le palier le plus haut complété par un participant tétraplégique (figures 4-3 et 4-4.). Il est important de préciser que l'extrapolation de ses données a été faite à partir de l'évolution de chaque participant jusqu'au dernier palier complété (200g). Les équations découlant de cette extrapolation sont:  $VO_{2MRext} = 0,36 \times C + 327,50$  ( $r=0,99$ ,  $p<0,0001$ ) pour le groupe Témoin,  $VO_{2MRext} = 0,35 \times C + 283,13$  ( $r=0,99$ ,  $p<0,0001$ ) pour le groupe Tétra,  $VO_{2MRext} = 3,86 \times \%PImax + 306,94$  ( $r=0,99$ ,  $p<0,0001$ ) pour le groupe Témoin et

$VO_{2MRext} = 2,71 \times \%PI_{max} + 255,96$  ( $r = 0,97$ ,  $p < 0,0001$ ) pour le groupe Tétra. La différence entre les pentes pour la relation  $VO_{2MR}$  extrapolée en fonction du  $\%PI_{max}$  n'est pas significative ( $t = 3,06$ ;  $t$  significatif à  $0,05 = 4,35$ ). De plus, la différence entre les groupes suite à cette extrapolation n'est pas significative ( $F(14, 1) = 2,3$ ,  $p = 0,49$ ,  $P = 0,30$ ,  $r = 0,14$  pour l'extrapolation à partir de la courbe de régression de la  $VO_{2MR}$  en fonction de la charge et de  $F(14, 1) = 2,0$ ,  $p = 0,18$ ,  $P = 0,26$ ,  $r = 0,15$  pour l'extrapolation à partir de la courbe de régression de la  $VO_{2MR}$  en fonction du  $\%PI_{max}$ )



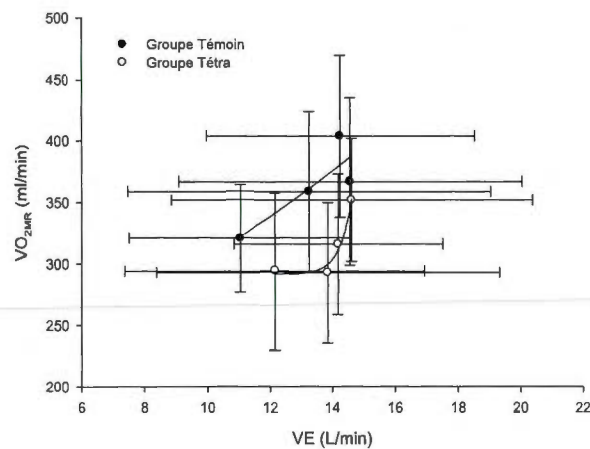
**Figure 4-3: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  extrapolée en fonction du  $\%PI_{max}$  pour les deux groupes.**

La régression linéaire y est représentée :  $r = 0,98$  pour le groupe Témoin et  $r = 0,97$  pour le groupe Tétra

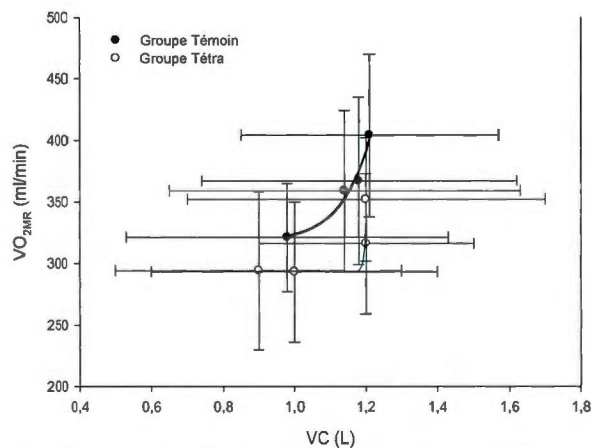


**Figure 4-5: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  extrapolée en fonction de la charge pour les deux groupes.**

La régression linéaire y est représentée :  $r=0,99$  pour le groupe Témoin et  $r=0,99$  pour le groupe Tétrà



**Figure 4-4: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  en fonction du  $VE$  pour les deux groupes**  
La relation est exponentielle.



**Figure 4-6: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  en fonction du  $VC$  pour les deux groupes**  
La relation est exponentielle.

En outre, lorsque la  $VO_{2MR}$  est exprimée en fonction du débit ventilatoire (VE) et en fonction du volume courant, celle-ci augmente exponentiellement au cours du test (fig. 4-5 et 4-6). Ces relations ont comme équation :  $VO_{2MR} = 0,0004 e^{(12,22 \times VC-1) / 12,22} + 317,11$  pour le groupe Témoin,  $VO_{2MR} = 6,72 e^{(186,22 \times VC-1) / 186,22} + 293,5$  pour le groupe Tétra,  $VO_{2MR} = 182,17 \times 1,05^{VE}$  pour le groupe Témoin et  $VO_{2MR} = 2,94 e^{(2,64 \times VE-1) / 2,64} + 291,4$  pour le groupe Tétra.

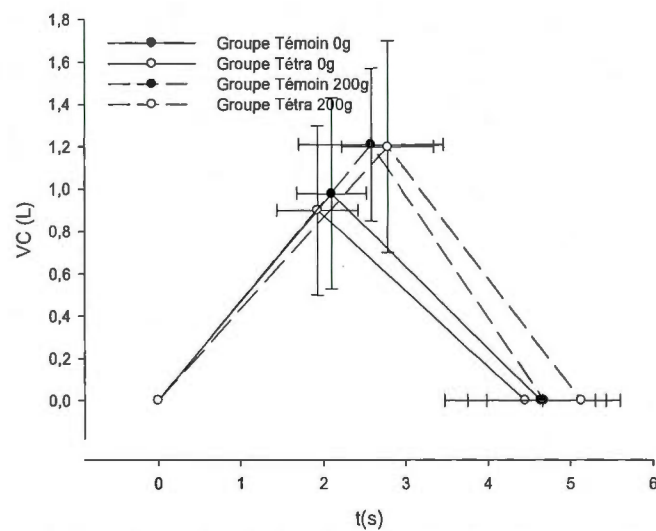


Figure 4-7: Représente la relation du VC en fonction du temps inspiratoire (ti) pour un cycle respiratoire pour les deux groupes à 0g et 200g

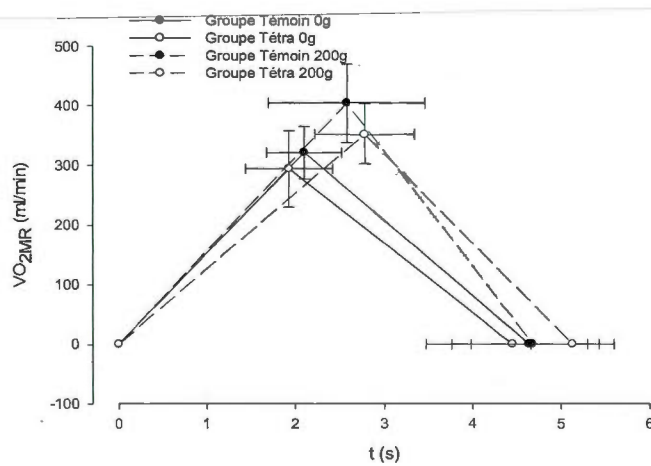
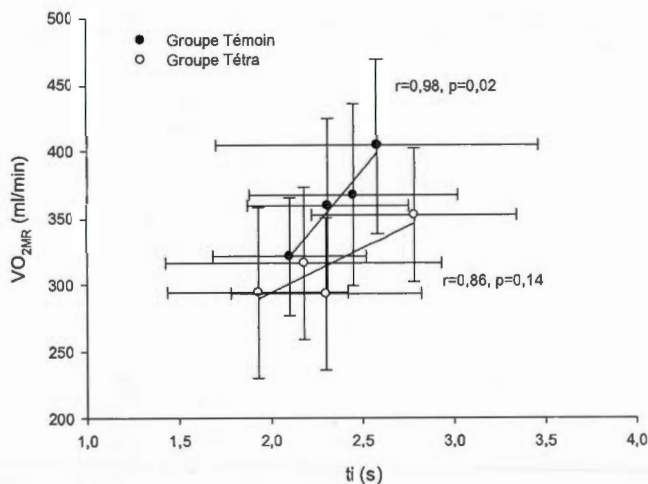


Figure 4-8: Représente la relation du  $VO_{2MR}$  en fonction du  $t_i$  pour un cycle respiratoire, pour les deux groupes à 0g et 200g



**Figure 4-9: Représente la relation de la  $VO_{2MR}$  en fonction du  $t_i$  pour les deux groupes**  
 La régression linéaire y est représentée :  $r=0,98$  pour le groupe Témoin et  $r=0,86$  pour le groupe Tétra

Le temps inspiratoire ( $t_i$ ) pour la même charge est similaire pour les deux groupes ( $p=0,51$  et  $p=0,58$  pour les charges de 0g et 200g respectivement) (figure 4-7 et 4-8) et il augmente linéairement avec la charge ( $r=0,98$ ,  $p=0,02$  et  $r=0,86$ ,  $p=0,14$  pour le groupe Témoin et le groupe Tétra respectivement) (figures 4-9). Les équations pour la relation entre  $VO_{2MR}$  et le  $t_i$  pour les deux groupes sont:  $VO_{2MR} = 161,93 \times t_i + -19,40$  ( $r=0,98$ ,  $p=0,02$ ) pour le groupe Témoin et  $VO_{2MR} = 66,54 \times t_i + 160,87$  ( $r=0,86$ ,  $p=0,14$ ) (figure 4-9).

Le  $\text{CO}_2$  de fin d'expiration ( $\text{FetCO}_2$ ) ne varie pas significativement entre 0g et 200g ( $p=0,07$  entre les deux charges) et cela pour les deux groupes ( $p=0,56$  entre les deux groupes pour ces deux charges)(figure 4-10).

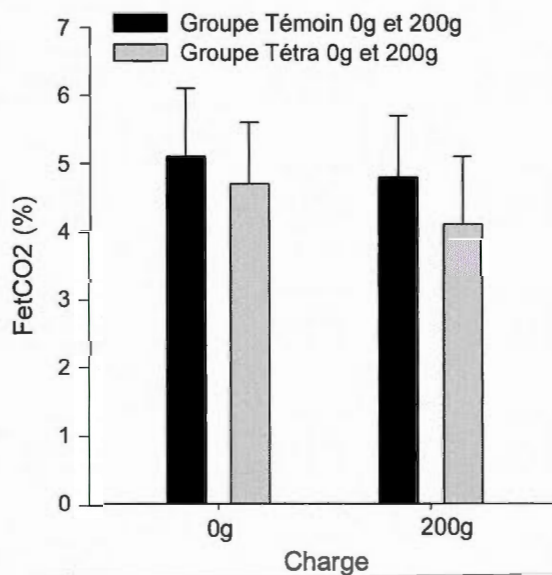


Figure 4-10: Représente la  $\text{VO}_{2\text{MR}}$  en fonction du  $\text{FetCO}_2$  pour les deux groupes à 0g et 200g



La moyenne du %PImax et le quotient respiratoire (R) atteints lors du dernier palier complété par chaque participant sont sensiblement égaux entre les deux groupes ( $p=0,95$ ). Il est à noter qu'aucun participant n'a atteint une désaturation en oxygène (94%) à la fin du test (tableau 4-2).

**Tableau 4-2: Variables respiratoires pour le test respiratoire progressif**

Groupes	%SatO2 min	(n)	%PImax atteint	(n)	QRfin	(n)
<b>Tetra</b>	$96,3 \pm 1,0$	4	$50,3 \pm 24,4$	5	$0,9 \pm 0,2$	6
<b>Témoin</b>	$96,3 \pm 1,5$	10	$49,6 \pm 5,8$	9	$1,0 \pm 0,2$	10

n, nombre de participants à ce test; QR, Quotient respiratoire.

## CHAPITRE 5

### DISCUSSION

Ce qui ressort principalement de cette étude est que le test respiratoire progressif proposé dans cette étude est suffisamment sensible pour mesurer la  $VO_{2MR}$ . La relation linéaire qui ressort entre la  $VO_{2MR}$  en fonction de la charge et du %P<sub>I</sub>max nous permet d'observer une progression similaire à ce qui est observé durant un test cardiovasculaire sous-maximal (Noonan et Dean, 2000). Mesurer la  $VO_{2MR}$  permettrait non seulement de normaliser une évaluation, mais permettrait aussi d'observer l'efficacité d'une intervention spécifique aux MR en élaborant des programmes d'entraînement en fonction de la  $VO_{2MR}$  en plus de la P<sub>I</sub>max. De plus, la  $VO_{2MR}$ . De fait, une diminution de la  $VO_{2MR}$  lors de la réévaluation suggérerait une amélioration de l'efficacité des muscles inspiratoire.

#### 5.1 Tests CV, P<sub>I</sub>max et P<sub>E</sub>max

La P<sub>I</sub>max a été mesurée à VR et la P<sub>E</sub>max à CPT, tel que recommandé par le papier sur les directives de l'évaluation des muscles respiratoires publié conjointement par l'American thoracic Society et l'European Respiratory Society (ATS/ERS, 2002) afin d'obtenir les valeurs maximales les plus élevées. Cette démarche a permis d'assurer une meilleure reproductibilité (ATS/ERS, 2002). De plus, nous voulions que nos valeurs soient mises en lien avec les études de Fulg-Meyer (1971) et Hopman et al. (1997) qui utilisait un protocole similaire afin de mesurer la P<sub>I</sub>max et la P<sub>E</sub>max. Toutefois, nos valeurs sont supérieures à celle de Fulg-Meyer (1971), car la majorité de nos participants avaient une lésion incomplète, alors que les participants de l'étude de Fulg-Meyer avaient une lésion complète. D'ailleurs, l'évolution des interventions médicales permet aujourd'hui de compter très peu de personnes atteintes d'une lésion médullaire complète. De plus, les programmes de réadaptation ont beaucoup évolué

depuis 1971 et cause une perte moins importante des capacités physique qu'auparavant.

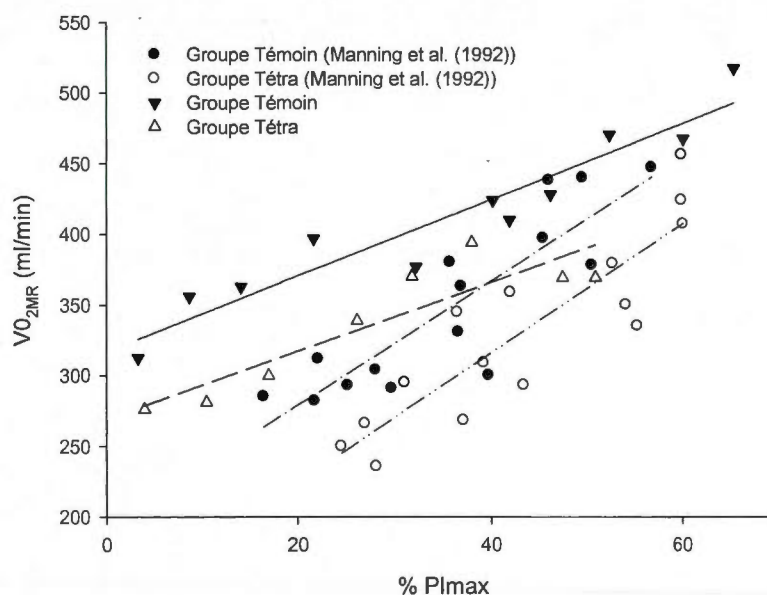
Bien que nous n'ayons pu observer de différence significative entre les deux groupes pour la P<sub>I</sub>max et la P<sub>E</sub>max, il est possible que ce soit dû à l'échantillon restreint qui engendre une variation des résultats. De fait, de nombreuses études ont observé une P<sub>I</sub>max et P<sub>E</sub>max significativement moindre chez cette population (Hopman et al. (1997), Fulg-Meyer(1971)). D'ailleurs, l'échantillon pour l'étude de Fulg-Meyer (1971) sur l'effet de la paralysie des muscles respiratoires chez les blessés médullaires était de 12 et 19 participants tétraplégiques (C4 à C8) pour les mesures de P<sub>I</sub>max et P<sub>E</sub>max, respectivement, et celle de Hopman et al (1997) qui contenait 15 participants tétraplégiques (C4 à C7) pour ce type de test. En outre, Hopman et al. (1997) ont expliqué la diminution de la P<sub>I</sub>max et la P<sub>E</sub>max comme étant le résultat de la dénervation de certains muscles respiratoires, laissant une masse musculaire active restreinte pour générer ces pressions. Fulg-Meyer (1971) observait que les pressions maximales inspiratoires et expiratoires sont dépendantes du volume du poumon pour ces tests maximaux. Dans notre étude, la posture lors des mesures de la P<sub>I</sub>max, de la P<sub>E</sub>max et lors de la CV était la même (position assise dans le fauteuil du participant). Les valeurs de P<sub>I</sub>max et P<sub>E</sub>max moindre seraient donc liées à la diminution de la CV chez le groupe Tétra.

D'ailleurs, il nous a été possible de corroborer les études de Forner (1980) et de Schilero et al. (2009) sur la diminution significative de la CV pour le groupe Tetra. En outre, Forner (1980) attribue cette diminution en partie à la réduction de la capacité inspiratoire, mais principalement à la diminution du volume de réserve expiratoire. Il est à noter que la CV mesurée a été la CV lente afin d'avoir une valeur maximale la plus élevée et d'obtenir ainsi une valeur la plus près de la capacité pulmonaire du participant.

## 5.2 Test respiratoire progressif sous-maximal

Les résultats de cette étude nous permettent d'observer une augmentation proportionnelle de la  $VO_{2MR}$  en lien avec l'effort inspiratoire durant les premiers paliers (charges entre 0 et 200g). Toutefois, nous n'avons pu observer de différence significative entre les deux groupes. Il est possible que cette différence significative à  $p < 0,05$  n'est pas été atteinte pour les mêmes raisons discutées pour la  $PI_{max}$  et  $PE_{max}$ , c'est-à-dire, un nombre de participants restreint. D'ailleurs, l'effet de taille de 0,21,  $p=0,08$  et la puissance de 0,43 de la relation  $VO_{2MR}$  en fonction de la charge (figure 4-2) suggèrent une tendance vers une différence entre les deux groupes.

En outre, les figures 4-1 et 4-2 permettent d'observer une tendance vers laquelle les MRs du groupe Tetra consommeraient moins d'oxygène pour une même charge et pour un même  $\%PI_{max}$ . Toutefois, cette consommation en oxygène moindre ne serait pas due à une meilleure efficacité des muscles inspiratoires chez le groupe Tétra, mais plus probablement à une masse de muscle respiratoire active moindre comme illustré par Schilero et al. (2009) (figure 2-3). Cette relation est similaire aux résultats de Manning et al. (1992). À la figure 5-1, nous avons rapporté les données de Manning et al. (1992) à la suite de certains calculs afin qu'elles soient comparables à nos résultats. Le  $\%PI_{max}$  a été calculé et la  $VO_{2MR}$  a été obtenue en additionnant le  $\Delta VO_{MR}$  obtenu par Manning et al. (1992) à une estimation de la consommation en oxygène au repos selon le poids des participants présenté dans leur étude. La valeur de repos retenu pour effectuer ce calcul était de 3,5 ml/kg/min, tel que rapporté par Swain (2000).



**Figure 5-1: Représente la  $VO_{2MR}$  en fonction du %PImax pour les deux groupes de l'étude de Manning et al. (1992) et nos données.**

Le résultat des données de Manning et al (1992) sur la  $VO_{2MR}$  (figure 5-1), calculées de la même façon que nous l'avons effectué, a permis de produire le graphique de la  $VO_{2MR}$  en fonction du % de la PImax. Ce graphique permet de comparer nos résultats avec ceux de Manning et al (1992). On remarque que les participants Tetra des deux études (Manning représenté par des cercles et la nôtre représenté par des triangles) permettent d'observer une tendance similaire où le groupe Tetra semble consommer moins d'oxygène que le groupe Témoin pour un même %PImax.

Par ailleurs, comme mentionnée ci-dessus, cette consommation moindre ne serait pas due à une meilleure efficacité des MR chez le groupe Tétra. En considérant que les résultats de Manning et al. (1992), lorsque la  $VO_{2MR}$  est présentée en fonction du «travail respiratoire» (travail de la résistance externe additionné au travail dû à décompression des gaz intrathoraciques, tel que mentionné par Manning et al, 1992), le groupe Tétra consomme plus d'oxygène pour un même «travail respiratoire» que le groupe témoin. Ces résultats portent à conclure que le groupe Tetra respirait moins efficacement que le groupe Témoin. Ce qui semble corroborer notre hypothèse selon laquelle la consommation en oxygène moindre serait due à une masse des muscles respiratoires actifs moindres et non à une efficacité accrue du système respiratoire.



Les extrapolations de la  $VO_{2MR}$  permettent de prédire la  $VO_{2MR}$  jusqu'au palier où la charge est de 600g et pourrait représenter un effort s'approchant du maximum. Cette extrapolation tentait d'explorer s'il pouvait exister une différence significative au-delà de 200g, étant donné l'arrêt du test de certains participants après ce palier. L'arrêt prématuré du test résultait principalement de l'inconfort dû à l'embout buccal. D'ailleurs, certaines études antérieures (Martyn et al.(1987) et Estwood et al.(1998)) présentent l'arrêt du test par les participants pour des raisons d'inconfort surtout dû à la sensation de suffocation. Le dernier palier de ces participants correspondait donc à une valeur sous maximale, c'est pourquoi l'extrapolation de leurs valeurs permet d'avoir un aperçu des valeurs s'approchant de la  $VO_{2MR}$  maximale. Toutefois, à l'analyse de ces valeurs extrapolées, il n'existe pas de différence significative entre les deux groupes. Par contre, il semble y avoir une augmentation de l'écart entre les deux groupes vers les derniers paliers de la  $VO_{2MR}$  en fonction du % $P_{Imax}$ . Cette différence de pente est observable sur le graphique contenant 4 paliers, mais elle devient plus marquée dans les paliers extrapolés. La différence entre les pentes, n'est toutefois pas significative ( $t=3,06$ ;  $t$  significatif à  $,05=4,35$  pour la relation extrapolée et  $t=1,39$ ;  $t$  significatif à  $,05=4,35$  pour la relation jusqu'au palier de 200g).

La relation exponentielle entre la  $VO_{2MR}$  et le VE (figure 4-5) corrobore en partie le graphique de Roussos et Campbell (1988) sur les différentes études sur la consommation en oxygène des muscles respiratoires en fonction du VE (figure 2-1). Cette relation est observée pour les deux groupes. Cependant, la fréquence respiratoire durant la totalité du test était imposée. De plus, il est possible d'observer cette même relation exponentielle pour le VC (figure 4-6, présentée dans la section résultats), ce qui suggérerait qu'après le palier de 200g le VC devenait fixe à un volume donné ( $\sim 1,2$  L) représentant environ 25% de la CV pour le groupe Témoin et environ 40% de la CV pour le groupe Tétra. Le seul degré de liberté aurait été l'augmentation de la fréquence respiratoire si elle n'avait pas été imposée afin de pouvoir continuer le test. Cela pourrait aussi expliquer l'arrêt prématuré de certains participants.

Le temps inspiratoire ( $t_i$ ) reste sensiblement le même pour les deux groupes ce qui suggère que le contrôle respiratoire est similaire entre les deux groupes. D'ailleurs, il est possible d'observer que l'augmentation du VC en fonction du  $t_i$  pour les charges de 0g et 200g (figure 4-7) semble se juxtaposer suggérant un débit inspiratoire moyen semblable entre les deux groupes pour ces deux charges. En outre, nous observons une augmentation linéaire de la  $VO_{2MR}$  en fonction du  $t_i$  (figure 4-9), suggérant que l'augmentation du  $t_i$  augmente linéairement avec l'effort inspiratoire.

La  $FetCO_2$  n'indique pas de différence significative entre les groupes pour les charges de 0 et 200g. Les valeurs chutant légèrement sous 5%, pour le palier de 200g suggère possiblement une légère hyperventilation lors du dernier palier (200g). Cette légère hyperventilation semble reliée à l'augmentation exponentielle du VC discuté plus haut et expliquerait la légère augmentation de la fréquence respiratoire pour certains participants, ce qui menait à l'arrêt du test. La différence de la  $FetCO_2$  pour les charges de 0 à 200g n'est toutefois pas significative.

La saturation en oxygène est demeurée stable jusqu'au dernier palier du test, ce qui suggère que l'effort n'a donc pas été assez intense pour affecter la saturation en oxygène de l'hémoglobine et cela pour tous les participants. Il en est de même pour le quotient respiratoire (QR) qui se situe autour de 1, suggérant que les participants ont fourni un effort intense. Le  $\%P_{I\max}$  atteint au dernier palier est similaire et suggère que l'inconfort dû à l'embout ou à l'effort, selon les participants, devient important à environ 50% de la  $P_{I\max}$ . Il faut prendre en considération que la FR imposée peut avoir été contraignante pour certains et donc exiger un arrêt du test prématuré.

### 5.3 Perspectives à moyen terme

L'utilisation d'une valve seuil électronique et l'augmentation de l'échantillon, idéalement constitué d'un minimum de 12 participants par groupe, comme présenté dans l'étude de Fulg-Meyer (1971) permettrait une augmentation de la puissance statistique et de discriminer les groupes. De plus, l'ajout d'un groupe avec une basse



lésion médullaire permettrait d'observer s'il existe une différence entre les groupes témoin, haute lésion et basse lésion. Les quelques participants paraplégiques (T4- L2, n=2) dans cette étude nous permettent d'utiliser leurs résultats à titre de projet préliminaire. Leurs données semblent correspondre à des valeurs médianes entre le groupe Témoin et le groupe Tétra pour les valeurs de  $VO_{2MR}$  et de CV. Toutefois, cela demeure à être confirmé dans une étude future. L'extrapolation de la  $VO_{2MR}$  pourrait être utilisée ultérieurement comme prédiction de la  $VO_{2MR}$  maximale. À cette fin, d'autres études devront être menées afin d'élaborer une équation de prédiction fiable pour ce test et plus spécifiquement pour cette population. De plus, ces études permettront d'observer s'il existe un apprentissage pour le test progressif utilisé dans notre protocole, comme il a été proposé dans l'étude d'Eastwood et al. (1998). Cela demeure à être confirmé.

À la suite de l'analyse du VC et du  $F_{etCO_2}$ , il serait pertinent de revoir si l'imposition de la FR devrait être maintenue dans le protocole. Cette décision a été prise en considérant plusieurs faits. A priori, dans l'article de Morrison, Fairbairn et Pardy (1989) la FR n'influçait pas la charge inspiratoire maximale soutenable par les participants pour ce test, la moyenne des pressions inspiratoires à la charge maximale et la pression inspiratoire développée durant la charge maximale. De plus, l'étude de Martyn et al. (1987) a permis de comparer une FR imposée à 12 respirations par minute à une respiration spontanée avec le même groupe de participants sains pour un test progressif similaire à celui utilisé dans notre étude. La pression inspiratoire maximale atteinte (PmPeak) rapportée par Martyn et al. (1987) ainsi que la PmPeak normalisée à la PImax n'étaient pas influencées par la FR. D'ailleurs, les données lors de pré-tests pour notre étude ne permettaient pas d'observer des différences dans la consommation en oxygène entre les paliers. Cette distinction n'a pu être observée que lorsque nous avons imposé une FR de 12 respirations/min comme proposé dans Martyn et al. (1987). De plus, un changement de la FR à la fin de certains paliers

durant le test ou en ajoutant une source de  $\text{CO}_2$  (  $\text{FICO}_2\%$ ) à l'inspiration pourrait être envisagé afin que le participant maintienne l'eucapnie.

#### 5.4 Conclusion

Ce test spécifique aux MR permettrait non seulement d'évaluer la capacité des muscles inspiratoires, mais aussi d'utiliser la  $\text{VO}_{2\text{MR}}$  à des fins d'élaboration de programmes de réadaptation tout en permettant un suivi de l'efficacité de ces programmes lors des réévaluations. En fait, le test progressif est utilisé afin d'évaluer la fonction des muscles inspiratoires (Eastwood et al.1998). Par contre, la majorité des interventions utilisent seulement le %  $\text{P}_{\text{Imax}}$  afin d'élaborer un entraînement en endurance des muscles respiratoires (VanHoutte et al. 2006).

Néanmoins, il demeure important d'élaborer des études qui permettraient de comparer trois groupes (témoin, paraplégique et tétraplégique) avec un matériel amélioré (valve électronique) et un échantillon de participants avec blessure médullaire plus élevé. De plus, il serait pertinent dans un contexte d'évaluation et de prescription d'un programme de réadaptation d'élaborer et valider une équation d'extrapolation des valeurs de ce test sous-maximale afin d'obtenir la  $\text{VO}_{2\text{MRmaximale}}$ .

## ANNEXE 1: FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Nous vous demandons de participer à un projet de recherche qui implique une épreuve respiratoire progressive jusqu'à épuisement. Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de comprendre et considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles aux chercheurs et aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

### **Chercheurs**

- Alain Steve Comtois Chercheur, professeur du département de kinanthropologie de l'UQAM et IRGLM
- Andrée-Anne Parent, étudiante à la maîtrise, UQAM et affilié à l'IRGLM

### **Projet**

Le but de ce projet est d'observer s'il existe un lien entre la quantité d'oxygène qu'utilisent les muscles responsables de la respiration et le niveau d'une blessure à la moelle épinière. Pour ce faire, un test respiratoire sera effectué à 20 participants volontaires ayant une blessure médullaire, dont 10 personnes tétraplégiques (C4-T2) et 10 autres paraplégiques (T2-T11). La durée de la session sera approximativement deux heures. Notre objectif est d'observer une relation entre le niveau de la blessure à la moelle épinière et la consommation en oxygène des muscles respiratoires. Une meilleure connaissance de la relation entre la consommation d'oxygène des muscles respiratoires et le niveau de la blessure à la moelle épinière permettra de mieux cibler des exercices conçus afin d'améliorer l'efficacité des muscles respiratoires.

Ce projet exige donc de vous présenter à une séance d'environ deux heures afin de passer une évaluation de vos muscles respiratoires. Lors de cette épreuve, il vous sera demandé de porter un pince-nez et de respirer à travers un embout buccal. Vous devrez respirer contre une pression qui augmentera

peu à peu jusqu'à ce que vous ne soyez plus capable de confronter la pression exigée.

Le tableau suivant décrit brièvement le déroulement de la séance :

Étapes	Temps	Explications
Accueil et formulaire de consentement	15 min	Présentation de l'étude par le chercheur, vous devrez lire et comprendre le formulaire de consentement et le signer
Spirométrie	5 min	Ce test vous demandera d'inspirer et d'expirer le plus fort possible en ayant le nez pincé. Vous ferez cette épreuve 3 fois.
Pression inspiratoire maximale	20 min	Vous devrez inspirer le plus fort possible après une expiration forcée. Vous devrez porter un pince-nez lors de ces tests. Vous ferez cette épreuve 3 fois chacune (pour les deux situations). Une pause de quelques minutes vous sera donnée entre les tests.
Pression expiratoire maximale	20 min	Vous devrez expirer le plus fort possible après une inspiration forcée. Vous devrez porter un pince-nez lors de ces tests. Vous ferez cette épreuve 3 fois chacune (pour les deux situations). Une pause de quelques minutes vous sera donnée entre les tests.
Épreuve respiratoire progressive maximale	30 min	Pour cette épreuve une pince sera placée sur votre doigt et vous devrez porter un pince-nez durant tout le déroulement. Vous aurez aussi une ceinture à porter au niveau de la poitrine afin d'avoir la fréquence cardiaque. En position assise vous devrez inspirer à travers un embout contre une charge, vous aurez l'impression d'inspirer dans une paille. Vous devrez respirer à une cadence de 12 respirations par minutes, indiquées par un métronome. De plus, lorsque la charge sera plus grande, pour ouvrir la valve qui permet d'inspirer vous devrez forcer en effectuant une succion avec la bouche. La charge augmentera toutes les deux minutes. Le test cessera si



		vous ressentez un malaise ou si vous ne pouvez plus exercer une pression suffisante contre la charge demandée pour ouvrir la valve après trois efforts consécutifs.
Récupération et départ	20 min	Afin de s'assurer de votre bien-être, nous attendrons que vos fréquences cardiaques soient revenues à ceux de repos avant votre départ.
Temps total maximum : 2 heures		

Voici un schéma vous permettant de visualiser le test respiratoire progressif maximal :



**Légende :**

- : Valve seuil
- : Analyseur métabolique portable
- : Transducteur de pression
- : Cardiofréquencemètre
- : Analyseur de saturation en oxygène

**Avantages et risques**

En participant à cette étude, vous pourrez connaître vos résultats à l'épreuve respiratoire et vous aurez contribué à l'avancement des connaissances sur le fonctionnement des muscles responsable de la respiration. Votre participation à ce projet de recherche ne vous fait courir, sur le plan médical, aucun risque que ce soit. Il est aussi entendu que votre participation au projet n'affectera pas les soins et les services que vous recevez ou recevrez à l'institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal.



**Inconvénients personnels :**

Le déplacement de votre domicile au site de recherche et la durée de la session d'environ deux heures peuvent représenter un inconvénient pour certaines personnes. De plus, il se peut que vous ressentiez de la fatigue ou de l'essoufflement durant et/ou à la suite de votre participation au projet. Aussi, le port d'un pince-nez et d'un embout buccal peut devenir inconfortable pour certains.

**Accès au dossier médical**

Afin de mener à bien ce projet, les informations de votre dossier médical concernant le niveau de blessure à la moelle épinière et la date de celle-ci devront être remises à l'équipe de recherche. Ces informations sont indispensables pour établir la relation entre la consommation en oxygène des muscles respiratoire et le niveau de lésion.

**Confidentialité**

Tous les renseignements personnels recueillis à votre sujet au cours de l'étude seront codifiés afin d'assurer leur confidentialité. En cas de présentation de résultats de cette recherche ou de publication, rien ne pourra permettre de vous identifier. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. Cependant, à des fins de contrôle du projet de recherche, votre dossier pourrait être consulté par une personne mandatée par le CÉR des établissements du CRIR, qui adhère à une politique de stricte confidentialité. Ces données seront conservées sous clé à l'Université du Québec à Montréal par le responsable de l'étude pour une période de 5 ans suivant la fin du projet, après quoi, elles seront détruites.

**Participation volontaire**

Votre participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait libre et volontaire. Il est entendu que vous pourrez, à tout moment, mettre un terme à votre participation sans que cela n'affecte les soins et les services de santé que vous recevez ou recevrez de l'institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal. En cas de retrait de votre part, les documents informatisés et écrits vous concernant seront détruits.

**Clause de responsabilité**

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

**Personnes-ressources**

Pour toutes questions ou pour signaler un effet secondaire, un incident ou annoncer votre retrait du protocole, vous pouvez rejoindre en tout temps M.

Alain Steve Comtois PhD, professeur responsable du projet au (514) 987-3000 poste 1083.

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Mme Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique de la recherche des établissements du CRIR au (514) 527-4527 poste 2649 ou par courriel à l'adresse suivante : [anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca](mailto:anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca).

### Consentement du participant

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques et inconvénients auxquels je m'expose tels que présentés dans le formulaire. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), \_\_\_\_\_, accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision et je sais qu'une copie de ce formulaire figurera dans mon dossier médical.

NOM DU PARTICIPANT

SIGNATURE

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fait à \_\_\_\_\_

le \_\_\_\_\_, 20\_\_

### Engagement du chercheur

Je, \_\_\_\_\_ soussigné \_\_\_\_\_ (e), \_\_\_\_\_, certifie

- a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable du projet  
ou de son représentant

Fait \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_ 20\_\_

le

## ANNEXE 2: ÉCHELLE OMNI MODIFIÉE

## Échelle OMNI modifiée

“SVP, dites-moi à qu'elle niveau d'essoufflement vous vous situez en utilisant cette échelle”



MAX 1

Très très difficile

Très difficile



Difficile

Un peu difficile

Moyen

Facile

Très facile



Rien du tout

## RÉFÉRENCES

American Spinal Injury Association : International Standards for neurological and functional classification of spinal cord injury- Revised 1997, Atlanta

American Thoracic Society/ European Respiratory Society, 2002. «ATS/ERS statement on respiratory muscle testing». *Am J Respir Crit Care Med.*; volume 166, p.518-624.

Bodin P., Kreuter M., Bake B., Olsen MF., 2003. « Breathing patterns during breathing exercises in persons with tetraplegia». *Spinal Cord*, volume 41, p. 290-295.

Butler J.E., 2007.«Drive to the human respiratory muscles». *Respiratory Physiology and Neurobiology*, volume 159, p. 115-126.

Devillard X., Rimaud D., Roche F., Calmels P., 2007.« Les effets du réentraînement à l'effort chez le blessé médullaire»*Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, volume 50, p.480-489

Eastwood P.R., Hillman D. R., Morton A.R., Finucane K.E., 1998.« The Effects of Learning on the Ventilatory Responses to Inspiratory Threshold Loading» *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, volume 158, p.1190-1196

Evans J.A., Whitelaw, W.A., 2009. «The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults». *Respiratory Care*, volume 54, p. 1348-1359

Fiz J.A., Romero P., Gomez R., Hernandez M.C., Ruiz J., Izquierdo J., Coll R., Morera J., 1998. « Indices of Respiratory Muscle Endurance in Healthy Subjects». *Respiration*, volume 65, p.21-27.

Foll-de Moro D., Tordi N., Lonsdorfer E., Lonsdorfer J., 2005.« Ventilation efficiency and pulmonary Function After a Wheelchair Interval-Training Program in Subjects With Recent Spinal Cord Injury»*Archives of physical medicine and rehabilitation*, volume 86, p. 1582-1586

Forner J.V., 1980. « Lung volumes and mechanics of breathing in tetraplegia»*Paraplegia*, volume 8, p. 258-266



Fulg-Meyer A.R., 1971. «Effects of respiratory muscle paralysis in tetraplegic and paraplegic patients» *Scandinavian Journal of rehabilitation medicine*, Volume 3, no. 4, p141-150

Garshick E., Kelley A., Cohen S.A., Garrison A., Tun C.G., Gagnon D. et Brown R., 2005. « A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury» *Spinal Cord*, volume 47, no. 7, p.408-416

Goshgarian H.G., 2009. «The Crossed Phrenic Phenomenon and Recovery of Function Following Spinal Cord Injury» *Respiratory Physiology and Neurobiology*, volume 169, no 2, p.85-93.

Hopman M.T.E., Van der Woude L.H.V., Dallmeijer A.J., Snock G. et Folgering H.T.M., 1997. « Respiratory muscle strength and endurance in individuals with tetraplegia» *Spinal Cord*, volume 35, p.104-108

Hudson A.L., Gandevia S.C. et Butler J.E., 2011. «Control of human inspiratory motoneurons during voluntary and involuntary contractions» *Respiratory Physiology and Neurobiology*, volume 179, numéro. 1, p.23-33

Janssen T. W. J., Van Oers C. A. J. M., Rozendaal E. P., Willemsen E. M., Hollander A. P, Van Der Woude L. V.,1996. « Changes in physical strain and physical capacity in men with spinal cord injuries.» *Medicine & Science in Sports & Exercise*, volume 28, no. 5, p.551-559

Johnson A., Cowley A.J. et Kinnear W.J.M., 1997. « Incremental threshold loading: a standard protocol and establishment of a reference range in naïve normal subjects» *European respiratory journal*, volume 10, p.2868-2871

Manning H. McCool F.D., Scharf S.M., Garshick E. et Brown R., 1992. « Oxygen cost of resistive-loaded breathing in quadriplegia» *Journal of Applied Physiology*, volume 73, numéro 3, p.825-831

Martyn J.B., Moreno R.H., Paré P.D. et Pardy R.L., 1987.«Measurement of Inspiratory Muscle Performance with Incremental Treshold Loading» *American Review of Respiratory Disease*, volume 135, p.919-923

Morrison N.J., Fairbairn M.S. et Pardy L.R., 1989.« The Effect of Breathing Frequency on Inspiratory Muscle Endurance During Incremental Threshold Loading »*Chest*, volume 96, no 1, p. 85-88



Nickerson B.G. et Keens T.G., 1982. « Measuring ventilatory muscle endurance in humans as sustainable inspiratory pressure» *Journal of Applied physiology*, volume 52, p. 768-772

Noonan V. et Dean E., 2000. « Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation.» *Physical Therapy*, volume 80, no. 8, p.782-807

Ratnovsky A., Elad D., Halpern. P., 2008. «Mechanics of respiratory muscles» *Respiratory Physiology & Neurobiology*, volume 163, p. 82-89

Roussos C. et Campbell EJM 1986.« Respiratory Muscle Energetics». In *Handbook of physiology: The Respiratory System*, Section 3, volume 2, American Physiological Society, Baltimore, page 491

Roussos C.S. et Macklem P.T., 1977. « Diaphragmatic fatigue in man» *Journal of Applied physiology*. volume 43, no. 2, p.189-197

Schilero J.G., Spungen A. M., Bauman W. A., Radulovic M. et Lesser M.,2009.« Pulmonary function and spinal cord injury». *Respiratory Physiology and Neurobiology*,volume 166, p 129-141

Sheel W. A., Reid W.D., Townson A.F., Ayas N.T. et Konnuyu K.J., 2008«Effects of Exercise Training and Inspiratory Muscle Training in Spinal Cord Injury : A Systematic Review.»*The Journal of Spinal Cord Medicine*, volume 31, no. 5, p. 500-508

Silva A.C., Neder J.A., Chiurciu M.V., Pasqualin D.C., Querino da Silva R. C., Fernandez A.C., Lauro F.A.A., Mello M.T. et Tufik S., 1998. « Effect of aerobic training on ventilatory muscle endurance of spinal cord injured men». *Spinal Cord*, volume 36, p.240-245

Simoes R.P., Deus A.P.L., Auad M.A., Dionisio J., Mazzonetto M., Borghi-Silva A., 2010. «Maximal respiratory pressure in healthy 20 to 89 year-old sedentary individuals of central Sao Paulo State» *Revista Brasileira de Fisioterapia*, volume 14, no. 1, p.60-67

Swain D.P., 2000.«Energy Cost Calculations for Exercise Prescription. An Update»*Sports Medicine*, volume 30, no. 1, p. 17-22

Troosters T, Gosselink R et Decramer M., 2005. «Respiratory Muscle Assessment» In *European Society respiratory Monograph: Lung function testing*., volume 31, European Respiratory Monograph, Hanover, p.57-71

Van Houtte S., Vanlandewijck Y. et Gosselink R., 2006. « Respiratory muscle training in persons with spinal cord injury: A systematic review». *Respiratory Medicine*. volume 100, p. 1886-1895

Zimmer M.B., Nantwi K., Goshgarian H.G., 2007. « Effect of spinal cord injury on the Respiratory System: Basic Research and Current Clinical Treatment Options» *Journal of Spinal cord Medicine*, volume 30, no. 4, p.319-330

Zimmer M.B., Nantwi K., Goshgarian H.G., 2008. « Effect of spinal cord injury on the neural regulation of respiratory function» *Experimental Neurology*, volume 209, no. 2, p.399-406